

### **3. Wyznaczanie prędkości opadania złoża biomasy metodą fluorescencji rentgenowskiej**

Determination of biomass bed settling by means of XRF method

Paweł Kazimierski<sup>(1,2)</sup>, Dariusz Kardaś<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Zakład Energii Odnawialnych

<sup>(2)</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny

Paweł Kazimierski: pkazimierski@imp.gda.pl

Słowa kluczowe: zgazowanie, radiografia, biomasa

#### **Streszczenie**

Promieniowanie jonizujące używane jest powszechnie w przemyśle do uzyskania obrazu radiograficznego. Głównym zastosowaniem przemysłowym badań radiograficznych (RT) są badania nieniszczące (NDT) stosowane głównie do wykrywania nieciągłości wykonawczych i eksploatacyjnych w elementach metalowych oraz badania spoin. Duże zastosowanie badań radiograficznych znajduje się także w analityce chemicznej.

Badania opadania złoża w reaktorze są kłopotliwe z licznych przyczyn technicznych. Temperatura pracy reaktora uniemożliwia umieszczenie w złożu czujników elektronicznych. Badania radiograficzne dają możliwość rejestracji przemieszczania metalowego elementu wprowadzonego do reaktora wraz z paliwem i obserwacji jego ruchu wraz z postępem procesu. Wprowadzenie małego elementu do analizy szybkości opadania złoża nie wpływa na przebieg procesu a sama metoda jest nieinwazyjna.

W pracy zaprezentowano wyniki eksperymentalnego wyznaczania szybkości opadania złoża podczas zgazowania zrębków brzożowych w reaktorze grawitacyjnym. W badaniach wykorzystano metody radiograficzne z lampą rentgenowską oraz izotopem Selenu 75 jako źródłami promieniowania.

#### **1. Wstęp**

Promieniowanie jonizujące używane jest powszechnie w przemyśle do uzyskania obrazu radiograficznego. Głównym zastosowaniem przemysłowym badań radiograficznych (RT) są tak zwane badania nieniszczące (NDT), stosowane głównie do wykrywania nieciągłości wykonawczych i eksploatacyjnych w elementach metalowych oraz do badania spoin. Badania radiograficzne znajdują także duże zastosowanie w analityce chemicznej. Analiza RT polega na naświetlaniu elementu źródłem promieniowania (lampa rentgenowska, izotop promieniotwórczy), w wyniku czego naświetlany obiekt emituje promieniowanie jonizujące które utrwalane jest na błonach radiograficznych lub na płycie obrazowej w przypadku radiografii komputerowej.

Badania opadania złoża w reaktorze są kłopotliwe z licznych przyczyn technicznych. Temperatura pracy reaktora uniemożliwia umieszczenie w złożu czujników elektronicznych. Badania radiograficzne dają możliwość rejestracji przemieszczania metalowego elementu wprowadzonego do reaktora wraz z paliwem i obserwacji jego ruchu wraz z postępem procesu. Wprowadzenie małego elementu do analizy szybkości opadania złoża nie wpływa na przebieg procesu a sama metoda jest nieinwazyjna.

Podczas zgazowania zachodzi wiele procesów termochemicznych, w wyniku których paliwo stałe przechodzi w formę gazową pod wpływem czynnika utleniającego. Procesy te mają różny charakter w różnych poszczególnych strefach reaktora, zmiana objętości i masy paliwa nie jest stała dla całej wysokości reaktora, co skutkuje różniącą się szybkością opadania złoża dla poszczególnych stref reaktora. W uproszczeniu można podzielić reaktor na cztery strefy:

- strefę suszenia,
- strefę pirolizy,
- strefę spalania,

- strefę utleniania karbonizatu/ redukcji gazu syntezowego.

Poznanie szybkości opadania złoża w poszczególnych strefach daje możliwość lepszego projektowania reaktorów. Znajomość czasu przebywania biomasy w poszczególnych strefach o różnych temperaturach i współczynnikach nadmiaru tlenu daje możliwości lepszego modelowania procesu zgazowania i konstruowanie bardziej efektywnych reaktorów zgazowujących (Kardaś 2014).

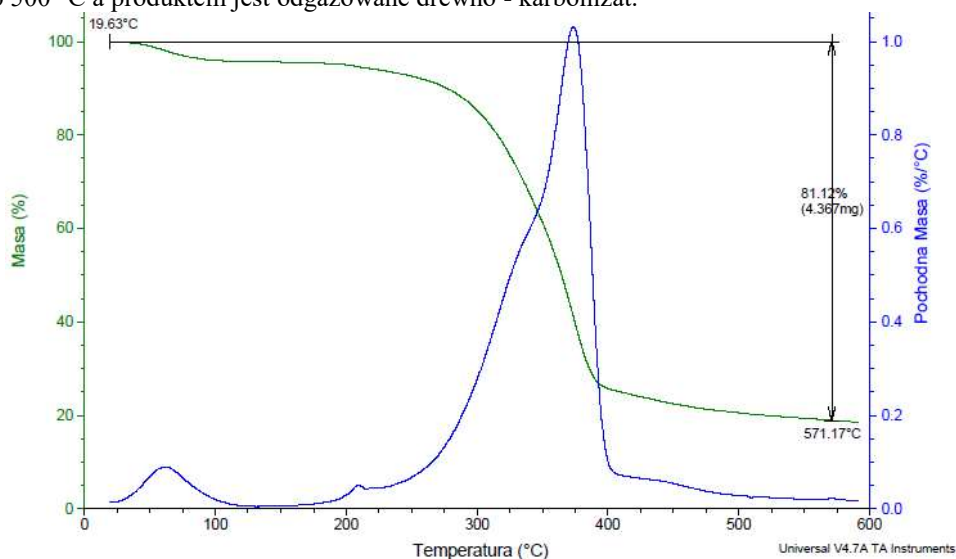
## 2. Analiza techniczna i elementarna surowca

Surowcem użytym w eksperymentach były zrębki brzożowe. Surowiec ten jest odpadem przemysłu drzewnego uzyskiwanym podczas zrywki. Jako pierwszy etap badań wykonano analizę techniczną i elementarną zrębek, którą przedstawiono w Tab. 1. Zrębki użyte w eksperymentach były powietrzno-suche. Materiał ten ze względu na wysoką wartość ciepła spalania oraz małą zawartość wilgoci jest dobrym paliwem.

**Tab. 1.** Analiza techniczna i elementarna zrębek brzożowych.

Ciepło spalania [MJ/kg]	19,59
<b>Analiza Techniczna [%]</b>	
Zawartość wilgoci	8,4
Części lotne	67,9
Karbonizat	21,4
Popiół	2,3
<b>Analiza elementarna [%]</b>	
C	45
H	6,4
O	47,3
N	1,3

Kolejnym etapem analizy surowca było wykonanie rozkładu pirolitycznego drewna przy użyciu termogravimetru analitycznego Rys. 1. Badanie to pozwala przeanalizować szybkości rozkładu surowca oraz temperatury, w których przemiany te zachodzą. Pierwsza widoczna zmiana masy zachodzi w temperaturze do 100°C i jest związana z odparowaniem wilgoci. Od około 200°C zachodzi rozkład pirolityczny. Intensywność ubytku masy przedstawiona jest na krzywej dm/dT. Najintensywniejszy rozkład zachodzi w temperaturze 380 °C i przekracza wartość 1% masy na 1°C. Proces pirolizy po przekroczeniu 400°C jest mniej intensywny (poniżej 0,1% masy na 1°C), co wynika z małej ilości części lotnych, które pozostały w karbonizacie. Proces pirolizy kończy się przy około 500 °C a produktem jest odgazowane drewno - karbonizat.



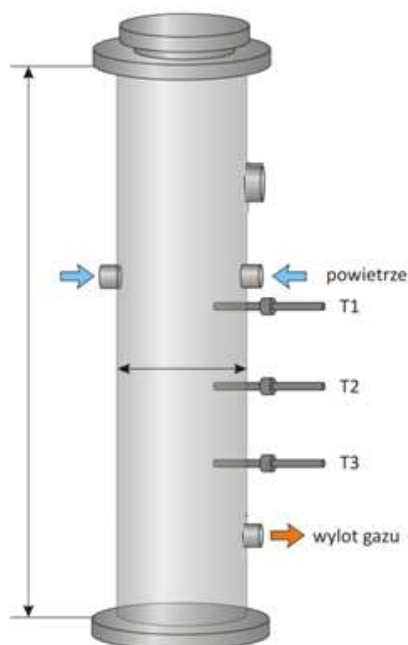
**Rys. 1.** Wykres rozkładu pirolitycznego brzoży w TGA.

### 3. Reaktor do zgazowania biomasy

Eksperymenty zgazowania przeprowadzono w reaktorze zgazowującym ze złożem stałym INKA (Rys.2), który schematycznie przedstawiono na Rys. 3. Reaktor ma postać pionowej rury o średnicy wewnętrznej 206 mm. W reaktorze umieszczone są dysze do dostarczenia czynnika zgazowującego (powietrza). Dysze znajdują się 520 mm od króćca odbioru gazu syntezowego. Na tym dystansie znajduje się strefa spalania oraz strefa zgazowania. Kontrola temperatury przeprowadzona jest przy pomocy trzech termopar umieszczonych w odległości o 180 mm od siebie. W skład instalacji do zgazowania biomasy wchodzi także zasobnik biomasy wraz z podajnikiem. Podawanie paliwa jest automatyczne. Ślimak podajnika uruchamiany jest sygnałem z czujnika poziomu paliwa. Elementem instalacji zgazowania jest także wentylator doprowadzający powietrze do zgazowania. Kontrola ilości doprowadzanego powietrza odbywa się przy pomocy termo-konduktometrycznego przepływomierza. Sterowanie wentylatorem jest płynne i odbywa się przy pomocy falownika.



Rys. 2. Reaktor do zgazowania INKA.



Rys. 3. Schemat reaktora do zgazowania INKA.

### 4. Opis metodyki badawczej

W celu wyznaczenia szybkości opadania złoża przeprowadzono eksperymenty zgazowania biomasy z rejestracją przesuwania się znacznika z zastosowaniem technik XRF. W znanych odstępach czasu wykonywano zdjęcia rentgenowskie przesuwającego się złoża paliwa, do którego wprowadzono znaczniki radiograficzne. Na zdjęciach mierzono przesunięcie się znaczników w czasie.



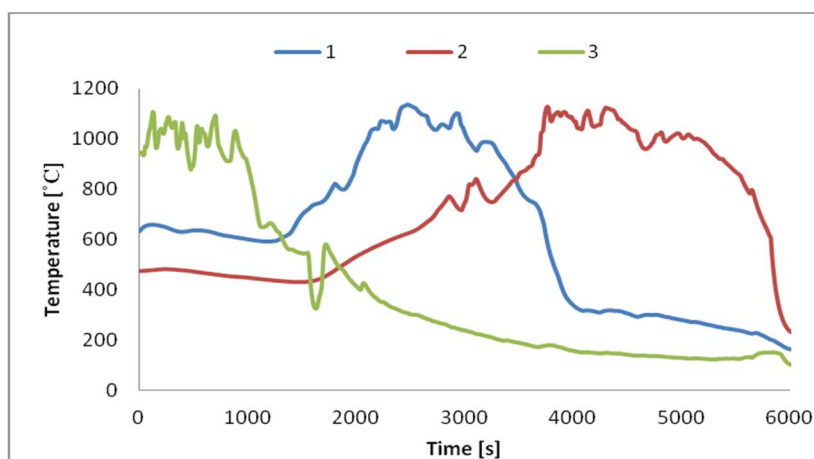
Rys. 4. Znaczniki radiograficzne użyte w eksperymentach.



Rys. 5. Aparatura do RXRF: Izotop Se-75, lampa Rentgenowska.

### 5. Dotychczasowe próby opisu szybkości opadania złoża

W celu sprawdzenia prędkości przesuwania się strefy spalania podczas dopalania reaktora mierzono czasy przesunięcia strefy spalania pomiędzy oddalonymi od siebie o 180 mm termopar. W eksperymencie tym przerwano dodawanie paliwa do pracującego reaktora, w wyniku czego po opadnięciu paliwa do wysokości dysz, w górnej części złoża powstała strefa spalania. Strefa ta osiadała wraz z ubytkiem biomasy znajdującej się pod dyszami. Najwyższa temperatura znajdowała się w górnej części opadającego złoża (Rys. 6.). Rejestrowano przesunięcie się najwyższej w reaktorze temperatury i przyjęto czas przejścia strefy spalania pomiędzy czujnikami temperatury jako szybkość opadania złoża. Średni czas przesunięcia się strefy spalania pomiędzy termoparami oddalonymi o 180mm wynosił 2000 sekund. Po przeliczeniu czasu przejścia, obliczono średnią prędkość opadania strefy spalania która wynosiła 0,09 mm/s. Metoda ta obarczona jest dużym błędem wynikającym z pracy reaktora w trybie okresowym podczas eksperymentu. Podczas wyznaczania prędkości nie występuje strefa pirolizy, jedynie strefa spalania oraz strefa zgazowania.

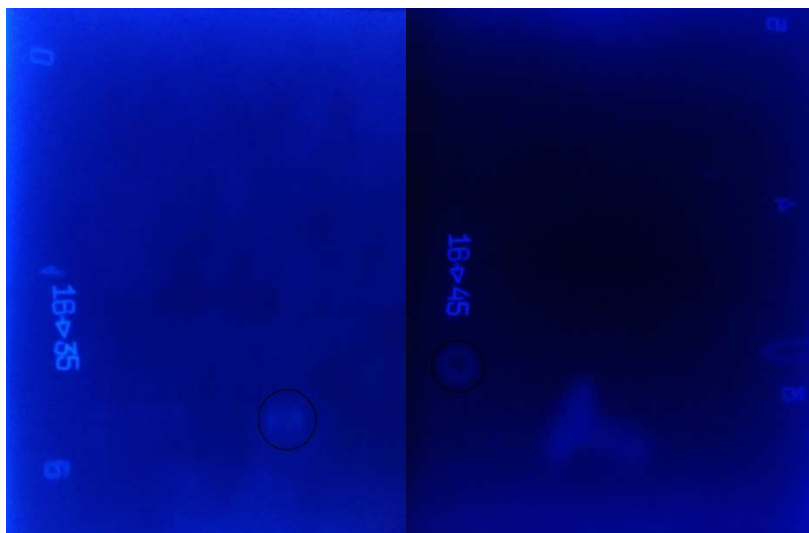


Rys. 6. Prędkość przesuwania się strefy spalania.

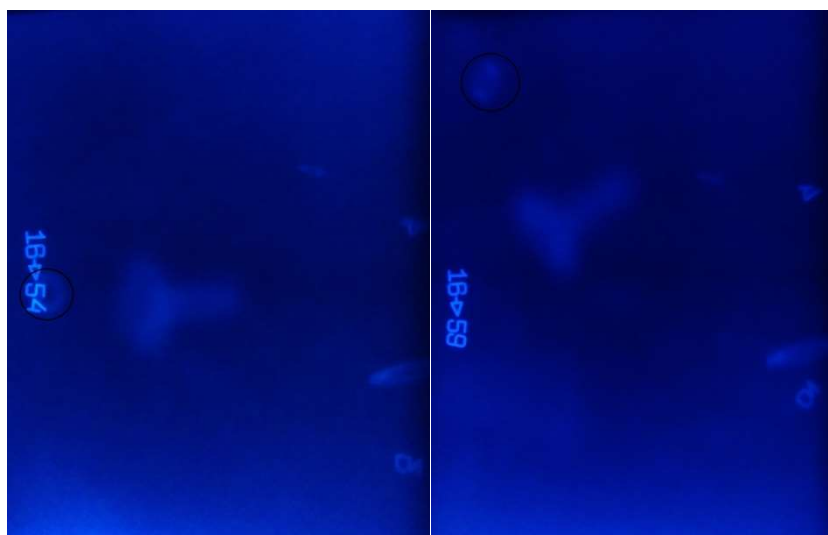
### 6. Eksperymentalne wyznaczenie szybkości opadania złoża

Szybkość opadania złoża wyznaczano przy pomocy radioizotopowej fluorescencji rentgenowskiej (RXRF) oraz fluorescencji rentgenowskiej (XRF) z użyciem lampy rentgenowskiej.

W obu przypadkach wykorzystano źródło promieniowania z jednej strony reaktora oraz błony radiograficzne z drugiej strony reaktora. W przypadku badań RXRF wykorzystano jako źródło izotop promieniotwórczy Se-75. W badaniach XRF użyto lampę rentgenowską o mocy 220 kV. Badanie szybkości opadania złoże polegała na wykonaniu serii zdjęć rentgenowskich oraz analizę czasu przemieszczania o znaną odległość. Poniżej przedstawiono obrazy (Rys. 7-12) uzyskane dla serii sześciu pomiarów i zaznaczono położenie analizowanego obiektu. Skala czasowa widoczna na lewej stronie zdjęć pozwala zmierzyć przemieszczenie.



**Rys. 7.** Radiogram 1.      **Rys. 8.** Radiogram 2.



**Rys. 9.** Radiogram 3.      **Rys. 10.** Radiogram 4.



Rys. 11. Radiogram 5. Rys. 12. Radiogram 6.

## 7. Wyniki

Wyniki zebrano w formie przemieszczenia od czasu (Tab. 2) oraz szybkości opadania wyliczonej dla danych przedziałów (Tab. 3). W początkowej fazie procesu zaobserwowano największe przemieszczenia oraz szybkości opadania złoża. Zgodnie z przewidywaniami szybkość na końcu procesu była najmniejsza. W górnej części reaktora szybkość opadania złoża to suma szybkości wynikających z ubytków objętości w poszczególnych strefach. Największy ubytek objętości następuje w strefie pirolizy. W dolnej części reaktora, gdzie zachodzi jedynie stosunkowo wolny proces utleniania karbonizatu, opadanie złoża jest znacznie wolniejsze.

**Tab. 2.** Przesunięcie znacznika radiograficznego w czasie.

Czas [min]	przesunięcie [cm]
10	17
20	31
29	37
34	46
40	48
48	49

**Tab. 3.** Szybkość opadania znacznika w reaktorze.

Czas [min]	Szybkość opadania dla punktów pomiarowych [cm/min]
10	1,7
20	1,4
29	0,67
34	1,8
40	0,4
48	0,125

## 8. Wnioski

Metody radiograficzne to bardzo obiecująca technika badania procesu zgazowania. Wyznaczenie szybkości osiadania złoża przy pomocy serii zdjęć oraz w oparciu o prędkość przesuwu strefy spalania różniło się dość znacząco. Szybkość opadania złoża wyznaczona na podstawie analizy przemieszczania się strefy spalania wyniosła średnio 0,09 mm/s, zaś w przypadku metod radiograficznych 0,17 mm/s. Różnica ta wynikała z tego, iż przy analizie przesuwania się strefy spalania cała biomasa jest już w formie karbonizatu po pirolizie. Podczas badań radiograficznych prowadzono proces w sposób ciągły, w górnej części reaktora bez przerwy podawano świeże paliwo.

## 9. Literatura

- Zainzal ZA, Rifau A, Quadir GA, Seetharmu KN (2002) Experimental investigation of a downdraft biomass gasifier. *Biomass Bioenergy* 23: 283-289.
- Plis P, Wilk RK (2011) Theoretical and experimental investigation of biomass gasification process in a fixed bed gasifier. *Energy* 36: 3838-3845.
- Basu P (2010) *Biomass Gasification and Pyrolysis. Practical Design and Theory*. Elsevier, Oxford,
- Kluska J. (2015), *The Course and Analysis of Physicochemical Processes in Downdraft Gasifier*. PhD Thesis, Institute of Fluid Flow Machinery Polish Academy of Sciences.